

سلوك هيكل إنشائي خرساني عرضة للانفجار على الأرض

ردينا شاهين¹، د. محمد صفو²

قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب^{1,2}

roniashaheen.991@gmail.com

Received: 22/09/2019

Accepted: 27/10/2019

المستخلص - في السيناريو الحالي، تتزايد الأنشطة الإرهابية يوماً بعد يوم وتستهدف بشكل أساسي الهياكل والاماكن المزدحمة. وعموماً لم يتم تصميم المباني لمقاومة احمال الانفجار حيث هذه الاحمال تسبب أضراراً مدمرة للعناصر الهيكلية أو تؤدي إلى انهيار المباني. وبالتالي، من الضروري فهم أداء المباني الهيكلية تحت تأثير الاحمال الديناميكية الناجمة عن الانفجار لمعرفة العناصر التي هي بحاجة للتدعيم. في هذا العمل، تم دراسة سلوك بناء هيكلي مؤلف من 5 طوابق + قبو يخضع لمتفجر من نوع RDX (Research Department eXplosive) او (cyclonite) وبشحنة 150kg. تم تحديد متغيرات المرحلة الإيجابية للحمل المتفجر من مسافات مواجهة مختلفة وفق الدليل الأمريكي-UFC3-340-02^[5] ووفق الكود الهندي IS:4991-1968^[6] حيث تم إجراء التحليل الستاتيكي الخطي باستخدام برنامج ETABS2016 تم تحديد: 1. الانزياح في الطابق 2. القوى في الاعمدة والجوائز 3. انتقال المبنى بواسطة برنامج ETABS2016، لوحظ من نتائج هذه الدراسة أنه بالحفاظ على شدة شحنة الانفجار وتغير مسافة المواجهة أن الهيكل يكون آمناً عند مسافة مواجهة 70m.

الكلمات المفتاحية: حمولة انفجار، متفجر (شحنة انفجار RDX)، مسافة مواجهة، ETABS2016، انزياح الطابق، عدد الاعمدة والجوائز المنهارة.

ABSTRACT- In the present scenario, terrorist activities are increasing day by day and they mainly target structures and crowded places. The buildings are generally not designed to resist the explosive loads and these loads cause disastrous damage to structural members or result in collapse of buildings. Thus, it is essential to understand the performance of structures under explosive load to know which element needs to be strengthened. In the present work, a RCC building of G+5storey subjected to RDX (Research Department eXplosive) (cyclonite) explosive of 150kg is considered for the study. The positive phase parameters of explosive load of various standoff distances are determined as per UFC 3-340-02^[5] and per India code IS:4991-1968^[6]. The linear static analysis is performed using ETABS 2016 software. Has been determined: 1. Story drift, 2. Column and beam forces 3. Displacement of the building. It was observed from the results of this study that by maintaining the explosive charge and changing the standoff from the source, structure is safe at a distance of 70m.

مقدمة

الضغط الزائد عن طريق الهواء المحيط، انهيار وحدات الكسوة وتوليد موجات صدمية أرضية ناتجة عن تفاعل الطاقة المنطلقة مع الأرض. وهكذا، تم إيلاء اهتمام كبير لحماية الهياكل في المجتمعات الحضرية لأن حدوث انفجار (قنابل، تيري نتوتولوين تي ان تي، الخ.)، داخل وحول الهياكل يمكن أن تسبب تأثيرات مدمرة على سلامة الهيكل مثل انهيار الجدران، فشل وحدات الاكساء، أضرار للعناصر الداخلية والخارجية. أيضاً، قد يعاني السكان من إصابات أو خسائر في الأرواح قد تحدث نتيجة انهيار الهيكل.

يستخدم مصطلح الانفجار عادة لوصف أي حالة حيث يتم إطلاق كمية هائلة من الطاقة من مصدر نووي أو كيميائي أو ميكانيكي. ومع ذلك، من منظور تأثيرات حمل الانفجار على الأبنية الهيكلية، توجد مجموعة من السمات الأساسية التي يجب تمييزها واعتبارها دون الاعتماد على نوع المصدر. قد تسبب الانفجارات التي تحدث في المدن الحضرية الأقرب إلى المباني خسائر فادحة في الهيكل والهياكل المجاورة وقد تؤدي إلى خسائر في الأرواح. هذه التأثيرات تسبب تأثيرات فورية مثل انتشار

طريقة العنصر المطبقة وتحليل المفاصل اللدنة بناءً على النتيجة؛ استنتجوا أن المبنى مع الروابط المتصلة يتمتع بمقاومة عالية ضد حمل الانفجار مقارنة بالإطارات الأخرى وقدم الباحث Gautham T N^[3] دراسة عن تصميم المباني التي يمكن أن تقاوم هجمات الانفجارات وزيادة سلامة الهياكل. ولمعرفة استجابة المبنى عند تعرضه لأحمال الانفجار من مسافات مواجهة مختلفة وأوزان شحن مختلفة باستخدام برنامج ETABS2015 وفقاً للكود^[6] IS:4991-1968

حيث المبنى هيكلي من اطارات، واوزان شحنة الانفجار المستخدمة (Kgs (125-250-375-500) ومسافات المواجهة المستخدمة (15-20-25-30) m وقد وجد أن النموذج الأكثر مثالية لمقاومة تأثير الانفجار هو إطار متناظر منتظم لأنه أقل عرضة للتلف ويظهر قوة كبيرة عند مقارنته بالمباني غير المنتظمة إن هيكل (RCC (Reinforced Cement Concrete) المكونة من 5 طوابق اضافة للقبو عند تعرضه لحمل انفجار ناتجة عن وزن الشحنة البالغ 125 kgs والمسافة المقطوعة من 30 متراً ليس لها أي تأثير على الهيكل

ولكن عند تعرضه لحمل انفجار 500kgs بمسافة أفقية 15m عدد الجيزان والأعمدة التي انهضت كان 177 في هذه الحالة أداء الهيكل أمر بالغ الأهمية. أجرى P. Vinothini et.al^[4] التحليل الديناميكي لمبنى عالي الارتفاع (10 طوابق) تعرض لحمل انفجار مختلفي 60kg أو 30kg على مسافات مواجهة 10m إلى 15m باستخدام برنامج SAP2000 وذكر أن الاهتزاز الناتج أثناء الانفجار والانتقال يزداد مع زيادة في وزن الشحنة ويتناقص مع زيادة مسافة المواجهة. وبالتالي، فقد استنتج أن تأثير حمل الانفجار يكون أكبر عندما يكون حجمه أكبر.

3. ظاهرة الانفجار:

هي إطلاق قوة مكثفة شديدة الاشتعال تنتج غازات ساخنة تحت ضغط يصل إلى 300 kilo bar ودرجة حرارة حوالي 3000-4000 درجة مئوية. الهواء المضغوط الناتج يتوسع إلى الخارج من مركز الانفجار ويتسبب في تكوين موجة في مركز الرياح ذات سرعة أكبر من سرعة الصوت. لذلك تسبب موجة الانفجار هذه ارتفاعاً في ضغط الهواء ويعرف بأنه الضغط الزائد الجانبي. مع اجتياح موجة الانفجار أو موجة الصدمة، يتراجع الضغط الزائد تدريجياً. الآن يتم توليد منطقة ضغط فراغ خلف موجة الصدمة.

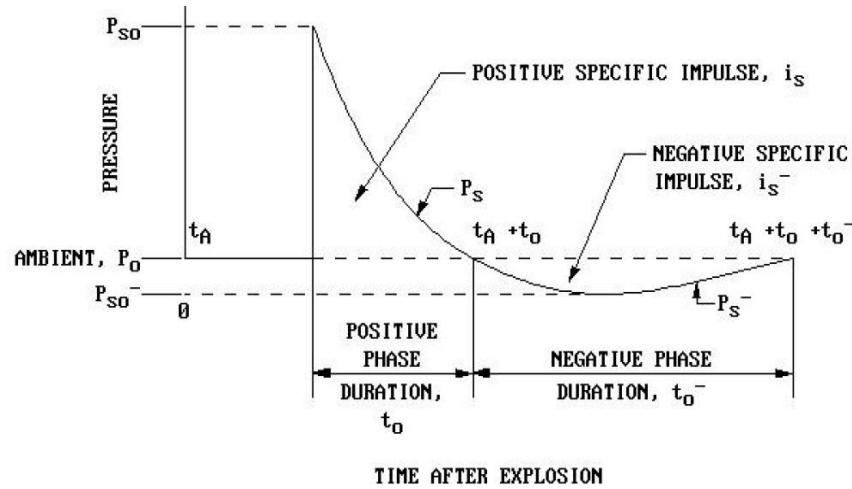
نظراً للعديد من الأحداث العرضية أو المتعمدة، أصبح سلوك البنى المعرضة لحمل الانفجار محل اهتمام في السنوات الأخيرة. يتم إنشاء الهياكل العادية بشكل مختلف على النقيض من الهياكل العسكرية، وبالتالي، تم أنشأ هذه الهياكل لتكون أكثر عرضة لأحمال الانفجار. عادةً ما لا يتم تصميم الهياكل التقليدية، خاصة تلك الموجودة فوق سطح الأرض، لتحمل أحمال الانفجار. وبما أن حجم أحمال التصميم أقل بكثير من الحمل الفعلي الناتج عن معظم الانفجارات، فإن الهياكل التقليدية أكثر عرضة للأضرار الناجمة عن الانفجارات. ونتيجة لذلك، يبحث المهندسون عن حلول لمشكلة حالات الانفجار من أجل حماية حياة الناس وسلامة الهياكل. وبالتالي، من أجل تصميم المباني المقاومة للانفجار، من المهم فهم سلوك البناء تحت تأثير الانفجار وأثاره.

1. أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة سلوك بناء هيكلي على الزلزال عرضة للانفجار على الأرض على مسافات مواجهة متعددة وشدة انفجار ثابتة باستخدام الطرق الرقمية-طريقة العناصر المحدودة برنامج (Etabs2016) وحيث تم حساب متغيرات الانفجار مثل ذروة الضغط المنعكس، مدة المرحلة الإيجابية، الضغط الديناميكي الضغط المعكوس الجانبي باستخدام الدليل الأمريكي UNIFIED FACILITIES CRITERIA^[5] UFC3-340-02 وباستخدام الكود الهندي^[6] (Indian Standard) IS:4991-1968 ومقارنة النتائج.

2. الدراسة المرجعية:

أجرى الباحث^[1] Quazi Kashif دراسة عن استجابة بناء هيكلي خاضع لشحنتين شحنة مختلفتين 100 كغ و500 كغ على مسافة انفجار 30 متر وتم حساب متغيرات حمولة الانفجار وفق الكود الهندي IS:4991-1968 وقد تم تنفيذ التحليل باستخدام التاريخ الزمني غير خطي باستخدام برنامج sap2000 فتبين إن المباني الهيكلية المكونة من خمسة طوابق المصممة على الأحمال العادية فقط تؤدي أداءً جيداً بشكل معقول، دون حدوث انهيار كارثي، عندما تتعرض لانفجار يعادل 100 كيلوغرام من مادة TNT على مسافة تبلغ 30 متراً. وصفت Amy Coffield^[2] سلوك ثلاثة إطارات فولاذية مختلفة مثل إطارات مقاومة للانعطاف، وإطارات بروابط معدنية متصلة وغير متصلة معرضة لأحمال انفجار (2kips) 9kn و(4kips) 18kn مع اعتبار انفجار هوائي سطحي يقع على ارتفاع (15ft) 4.6m تم تطبيق



الشكل (1): يبين منحنى الضغط-الزمن النموذجي^[9] TM5-1300-2002

المواد. على سبيل المثال، الخرسانة التي هي مادة هشّة تطور العديد من الكسور الناتجة عن التحطم. ينتج الخضوع والكسر في الفولاذ على أساس خصائص وأبعادها في ظل ظروف مماثلة.

5. تصنيف أحمال الانفجار:

يمكن تصنيف حمل الانفجار اعتماداً على مساحة حجز شحنة الانفجار إلى نوعين كما هو موضح في الجدول 1:

الجدول 1: الأحمال التي تنتجها أنواع مختلفة من أحمال الانفجار¹⁵

Blast load categories			
Charge confinement	Category	Pressure loads	Protractive structure
Unconfined explosions	-free air burst. -air burst -surface burst	-un reflected -reflected. -reflected	Shelter
	Fully vented	-internal shock -Leakage.	Cubicle
Unconfined explosions	Partially confined	-internal shock -internal gas -leakage	Partial confinement cell or suppressive
	Fully confined	Internal shock -internal gas	Full confinement cell

تتطلب استجابة الأبواب والنوافذ إجراءات تصميم خاصة من أجل الحد من آثار الانفجار الضارة. المداخل المتداخلة بأبواب مقاومة للتهوية وتهوية صمامات الانفجار توفر حلول قابلة

4. استجابة الهياكل ضد الانفجار:

تتعلق استجابة المنشآت ضد الانفجار بالضغوطات، وانتشار الموجات، إلى جانب الصدمة واختراق القذائف. يتم تطبيق كامل لظاهرة موجة الصدمة أثناء انتقال موجات الانفجار من خلال ظاهرة الانتقال. إذا بدأ الانفجار على مسافة مقاسة كبيرة للغاية، على سبيل المثال، إذا كان وزن الشحنة صغيراً أو مسافة كبيرة تقريباً من الهيكل، فإن التشوه العام سيؤثر على الهيكل. يظهر أن جميع العناصر الهيكلية توفر بعض المقاومة لموجة الصدمة. من الأهمية أن يتم تضمين عناصر التحميل المتوقعة والعناصر المقاومة لامتصاص موجة الصدمة في التحليل الديناميكي والتصميم من أجل التصور الصحيح للاستجابة الهيكلية.

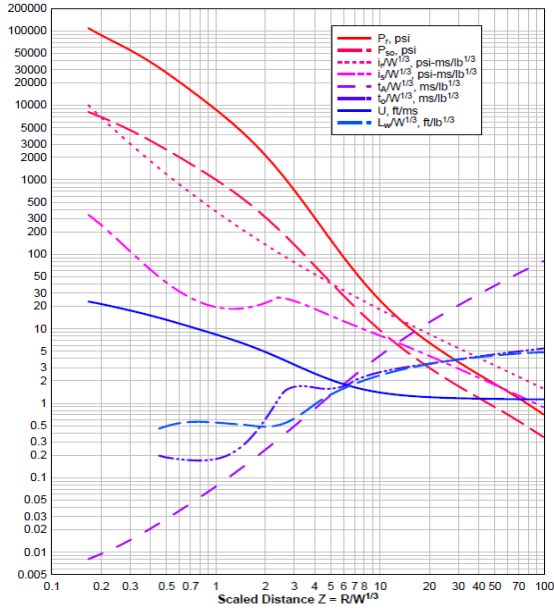
إذا وقع الانفجار بالقرب من جدار أو سطح، مع مجال ضيق صغير، يؤدي الانفجار إلى الانهيار المفاجئ وتشققات على الجانبين الأمامي والخلفي. قد تتحرك شظايا الجدار كقذائف. هذه الشظايا يمكن أن تضر الناس، وتضر الهيكل، وبالتالي سينتج انهيار للهيكل إذا تم اختلال الدعم الهيكلية بشكل مفرط. يحدث كل من الاستجابة العامة والمحلية مع الشقوق المفرطة في نطاق مقياس متوسط، إلى جانب التحطم القريب للوجه والتشققات على الوجه الخلفي، عند النطاقات متوسطة التفجير.

موجة الانفجار تولد موجات متضخمة من (الشد أو الانضغاط) بسرعات تتراوح بين 2700 و 3400 م / ثا في الخرسانة العادية و 4900-5800 م / ثا بالفولاذ. تنتج الانعكاسات فجأة داخل المادة بالميللي ثانية. يمكن أن يحدث معدل انفعال مرتفع وآثار التفكك الرئيسية على أساس خصائص

الشكل 2: بيبين المسقط الافقي

الجدول 2: خواص المادة التي تم اعتمادها

البيتون المستخدم	M20
الفلواذ المستخدم	Fe400
كثافة البيتون	25kn/m ³
كثافة الفلواذ	76.97kn/m ³
معامل بواسون	0.2



الشكل 3: معاملات الانفجار السطحي (المرحلة الإيجابية) UFC 3-340-02^[5]

الجدول 3 : معاملات حمولة الانفجار وفق [6] is:4991-1968

DISTANCE, PEAK SIDE ON OVERPRESSURE RATIO	MACH NO.	POSITIVE PHASE DURATION, t ₀ , milli-sec	DURATION OF EQUIVALENT TRIANGULAR PULSE, t _b , milli-sec	DYNAMIC PRESSURE RATIO	PEAK REFLECTED OVERPRESSURE RATIO
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
15	8.00	2.80	9.50	5.39	10.667
18	5.00	2.80	11.00	7.18	5.205
21	3.30	1.96	16.35	9.33	2.843
24	2.40	1.75	18.65	11.23	1.532
27	1.80	1.60	20.92	13.30	0.920
30	1.40	1.48	22.92	15.39	0.583
33	1.20	1.42	24.95	16.31	0.439
36	1.00	1.36	26.71	17.94	0.312
39	0.86	1.32	28.22	19.20	0.235
42	0.76	1.28	29.74	20.20	0.186
45	0.66	1.25	31.25	21.60	0.142
48	0.59	1.23	32.26	22.70	0.115
51	0.53	1.20	33.52	23.70	0.093
54	0.48	1.19	34.52	24.70	0.077
57	0.43	1.17	35.53	26.40	0.062
60	0.40	1.16	36.29	26.60	0.054
63	0.37	1.15	37.30	27.80	0.046
66	0.34	1.14	38.05	28.76	0.039
69	0.32	1.13	38.81	29.25	0.035
72	0.30	1.12	39.66	29.87	0.031
75	0.28	1.11	40.32	30.71	0.027
78	0.26	1.104	40.82	31.55	0.023
81	0.25	1.100	41.58	31.92	0.022
84	0.24	1.098	42.34	32.00	0.020
87	0.23	1.095	42.84	32.26	0.018
90	0.22	1.086	43.60	33.39	0.016
93	0.20	1.082	44.35	34.70	0.014
96	0.19	1.077	45.46	35.37	0.013
99	0.18	1.072	45.61	36.22	0.012

NOTE 1 — The value of p₀ the ambient air pressure may be taken as 1 kg/cm² at mean sea level.
 NOTE 2 — One tonne of explosive referred to in this table is equivalent to 1.5 × 10⁹ calories.
 NOTE 3 — Velocity of sound in m/s may be taken (331.5 + 0.607 T) where T is the ambient temperature in centigrade.

للتطبيق. ومن الحقائق الثابتة أن الانفجارات في منطقة محصورة جزئياً أو كلياً تولد أضراراً مفردة بالمقارنة مع تلك الموجودة في الهواء الحر حيث لم يتم دراسة أثر الانفجار على الأبواب والنوافذ في دراستنا ولكن يمكن الرجوع لذلك في المراجع التالية [7]، [8]، [5] يمكن حساب الاستجابة الإنشائية للانفجار مع تطبيق النظري والتجارب في وقت واحد. يتم تصور النتائج التجريبية مع الجوانب النظرية للانفجار من أجل تحديد سلوك المادة في معدلات انفعال عالية. يجب التحقق من الحسابات الناتجة مع النتائج التجريبية إلى أقصى حد ممكن.

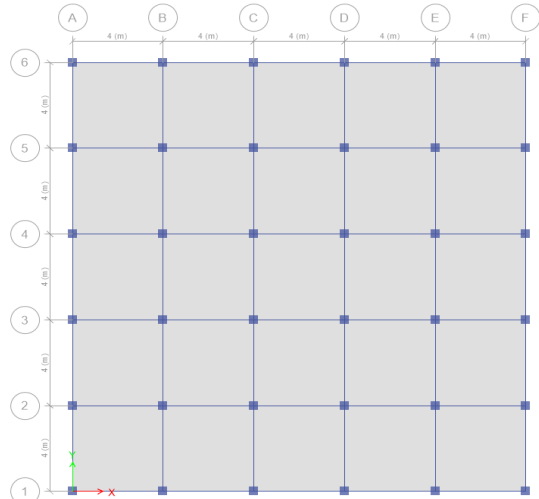
6. التفاعل بين موجات الانفجار والمبنى:

عندما تنتشر موجة الانفجار عبر الهواء، تغطي الموجة واجهة الهيكل وجميع أسطحه بحيث يتعرض الهيكل بأكمله لضغط الانفجار. فيما يلي العوامل التي يعتمد عليها حجم وتوزيع التحميل الهيكلية:

1. خصائص المتفجرات التي تعتمد على نوع المواد المتفجرة والطاقة المنبعثة ووزن المتفجرات.
2. موقع التفجير نسبة إلى الهيكل.
3. شدة وتضخيم الضغط والتفاعل مع الأرض أو الهيكل نفسه.

7. طريقة المعالجة المقترحة:

في العمل الحالي ببرنامج ETABS2016 بالطرق الرقمية تم تمثيل مبنى هيكلي متعدد الطوابق (multistory building with basement) مكون من خمسة طوابق ذات ابعاد أساسية تبلغ 20mx20m. يمثل الجدول 2 والشكل 2 المسقط الافقي للنموذج وخصائص المادة.



- حيث تم حساب مسافة المواجهة المقاسة وشحنة الانفجار المكافئة في الحالتين (الكود الهندي^[6] IS:4991-1968 والألميريكي^[5] ufc3-340-02) للمسافات الموضحة في الجدول 5،4 ومن أجل شحنة انفجار 150kg اعتماداً على العلاقة التالية :

$$z = \frac{Rh}{w^{1/3}}$$

المبنى وجد بعد الحساب والتحليل ان مسافة المواجهة لها دور كبير في تخفيف الضرر؛ حيث مع اتساع الموجة، تضمحل قوتها، وتطول في المدة وتتناقص في السرعة.

حيث تم تحليل المبنى الخاضع لمتفجر RDX بوزن 150kg تم تفجيره على مسافة مختلفة من 10m إلى 80m باستخدام برنامج ETABS 2016 ستاتيكيًا، تم تطبيق حمل الانفجار كحمل عقدي وتم إجراء تحليل ستاتيكي مكافئ خطي. حساب متغيرات موجة الانفجار وفق الدليل^[5] UFC3-340-02 (من الشكل 3 ومن الجدول 1 في IS:4991-1968^[6] كما هو مبين في الجدول 3

7.1. النتائج التي تم الحصول عليها بعد التحليل:

الجدول (4): يبين حمولة الانفجار المطبقة على مختلف العقد وفق UFC3-340-02

Standoff (m)	Pressure Kn/m ³	Joint1		Joint 2		Joint 3		Joint4		Positive duration (sec)	Arrival time (sec)
		Area (m ²)	Load (kn)	Area (m ²)	Load (kn)	Area (m ²)	Load (kn)	Area (m ²)	Load (kn)		
10	300	3.5	1050	7	2100	7	2100	14	4200	13.49	15.18
15	148	3.5	518	7	1036	7	1036	14	2072	16.87	22.49
20	94	3.5	329	7	658	7	658	14	1316	19.68	30.92
30	39	3.5	136.5	7	273	7	273	14	546	22.49	56.23
50	20.4	3.5	71.4	7	142.8	7	142.8	14	285.6	26.99	106.83
60	15.7	3.5	54.95	7	109.9	7	109.9	14	219.8	27.55	140.56
70	12.6	3.5	44.1	7	88.2	7	88.2	14	176.4	28.11	163.05 5
80	10.5	3.5	36.75	7	73.5	7	73.5	14	147	28.68	168.68

الجدول (5): حمولة الانفجار المؤثر على مختلف العقد وفق الكود الهندي IS:4991-1968

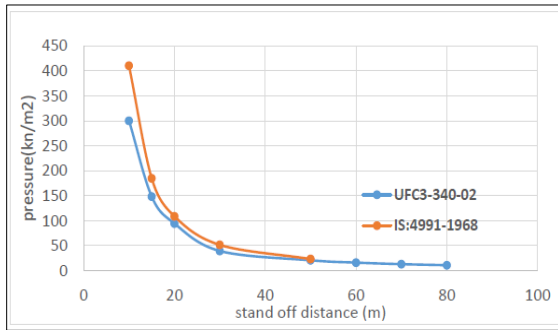
Standoff (m)	Pressure kn/m ³	Joint 1		Joint2		Joint3		Joint4		Positive duration (sec)
		Area (m ²)	Load (kn)	Area (m ²)	Load (kn)	Area (m ²)	Load (kn)	Area (m ²)	Load (kn)	
10	410.058	3.5	1435.203	7	2870.406	7	2870.406	14	5740.812	6.18
15	184.53	3.5	645.855	7	1291.71	7	1291.71	14	2583.42	8.8
20	108.6	3.5	380.1	7	760.2	7	760.2	14	1520.4	10.76
30	51.32	3.5	179.62	7	359.24	7	359.24	14	718.48	14.39
50	22.94	3.5	80.29	7	160.58	7	160.58	14	321.16	18.84
60	خارج مجال الجدول (1)									
70										
80										

الجدول 6: عدد العناصر المنهارة

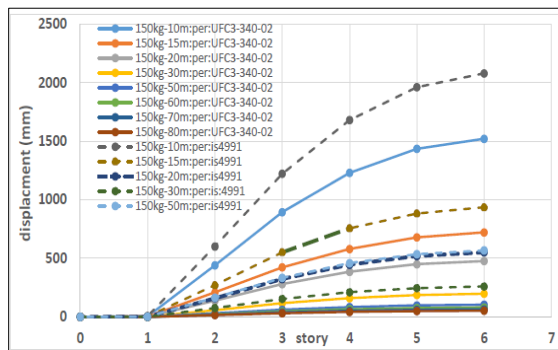
الحالة	مسافة المواجهة (m)	عدد الاعمدة الإجمالي	عدد الجيزان الإجمالي	عدد الاعمدة المنهارة (وفق UFC3- 340-02)	عدد الجيزان المنهارة) وفق UFC3- 340-02	عدد الاعمدة المنهارة (وفق IS:4991- 1968)	عدد الجيزان المنهارة) وفق IS:4991-1968)
1	10	216	360	216	188	216	188
2	15	216	360	200	158	210	158
3	20	216	360	160	158	170	158
4	30	216	360	90	78	92	98
5	50	216	360	30	6	48	12
6	60	216	360	8	0	0	0
7	70	216	360	0	0	0	0
8	80	216	360	0	0	0	0

■ مسافة المواجهة هي العامل الرئيسية التي تحدد ضغط الانفجار حتى الآن لحماية الهيكل وهي إبقاء القنبلة بعيدة قدر الإمكان عن طريق زيادة مسافة المواجهة. بحيث من الاشكال (4-6-7)، لوحظ أن مقدار الضغط المتولد أثناء الانفجار يتناقص مع زيادة مسافة المواجهة وبثبات شدة شحنة الانفجار. وبالتالي، فإن الضغط والانتقال والانزياح اعلى الطابق يقل مع زيادة المسافة بين مصدر الانفجار والهيكل. لوحظ انه من اجل هيكل منخفض الارتفاع (قصير) يكون امناً عند مسافة مواجهة 70m وفق الدليل الأمريكي UFC3-340-02^[5]

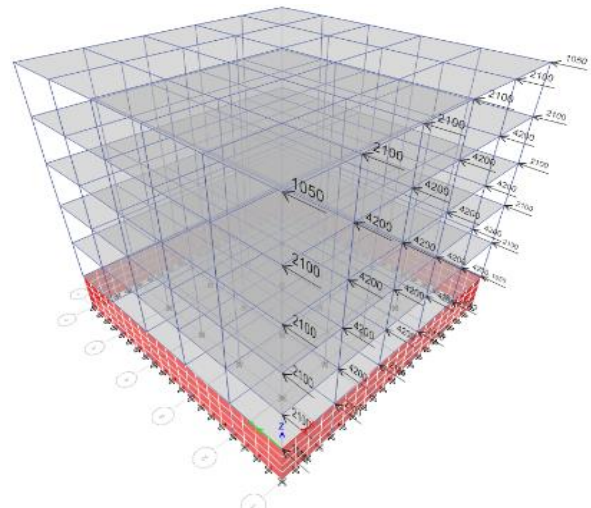
سبب هذه الظاهرة هو الانحراف الكروي وكذلك حقيقة أن التفاعل الكيميائي قد اكتمل، باستثناء بعض المخلفات المرتبطة بمنتجات الانفجار الساخنة التي تختلطت مع الغلاف الجوي المحيط. أي يقل الضغط نتيجة استهلاك الطاقة في تسخين الهواء بحيث يمكن تصور حدوث الانفجار المضغوط ككرة من الهواء المضغوط الذي يحقق التوازن بعد التوسع.



الشكل 4: ضغط الانفجار مع المسافة



الشكل 6: الانتقال في اعلى الطابق عند مسافات مواجهة مختلفة



الشكل 5: حمولة الانفجار المطبقة على المبنى بالنسبة للحالة الأولى وفق الدليل الأمريكي UFC3-340-02^[5]

ومن الجدول 6 نلاحظ ان عدد العناصر الهيكلية المنهارة نقل كلما زادت مسافة المواجهة. أي يمكن اعتماد ظاهرة " الابتعاد" ان أمكن في الحماية حيث يشير هذا المصطلح الى وجود معدات مثل الأسوار والجدران وغيرها التي تمنع الدخيل (سيارة مفخخة) من الوصول إلى الهدف أو على الأقل تؤخره حتى وصول مساعدة خارجية. - ونلاحظ من الاشكال 6 و7 ان الانزياح في الطابق الثاني يبلغ أعظم قيمة ويتجاوز المسموح.

الاستنتاجات:

■ بالمقارنة بين نتائج الكود الهندي [6] IS:4991-1968 والدليل الأمريكي UFC3-340-02 لمقاومة حمل الانفجار نلاحظ أنه بثبات شدة الشحنة (150kg) وزيادة مسافة المواجهة بين المصدر والهيكل حيث عند مسافة المواجهة 50m يكون الانفجار غير مؤثر (خارج حدود الجدول 1 [6]) وفق الكود الهندي.

■ بالمقارنة نلاحظ أيضاً أن الفارق النسبي بين الكود الهندي IS:4991-1968 والدليل الأمريكي UFC3-340-02 [6] هو 29.9% تقريباً مما يدل على أن الدليل الأمريكي أدق حيث نتائجه تعتمد على مخططات تجريبية.

■ توضح الأشكال (8-9-10) الأحمال المحورية على الأعمدة، وقوة القص وعزم الانعطاف في الجيزان عندما تتعرض للانفجار على مسافات المواجهة المختلفة. لوحظ أن عزم الانعطاف والحمل المحوري وقوة القص مرتفعة جداً عندما يحدث الانفجار بالقرب من المبنى والعكس. وبالتالي، فإن مسافة المواجهة هي إحدى العوامل الهامة التي تؤثر على تأثير التفجير.

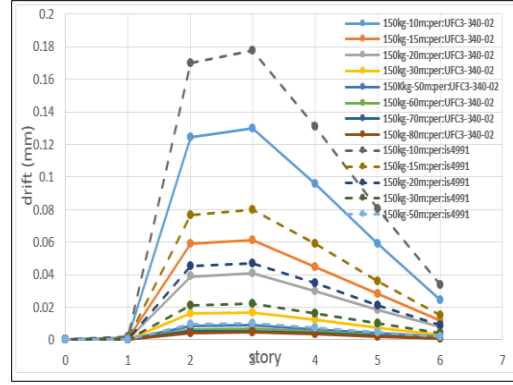
■ وكما نلاحظ من النتائج فرق في عدد العناصر المنهارة بين الدليل الأمريكي [6] UFC3-340-02 وبين الكود الهندي-4991: IS:1968 [6] حيث يبعد الانفجار عن المبنى يقل عدد العناصر المنهارة، حيث عدد الأعمدة المنهارة أكثر بحيث تكون أكثر العناصر تأثراً بالانفجار وخاصة في الطوابق السفلية.

■ من النتائج نلاحظ إن الانزياح يبلغ أعظم القيم في الطوابق السفلى الثاني والثالث لان حمولة الانفجار تؤثر مباشرة على الهيكل الخارجي وليس كما في الزلازل تؤثر على قاعدة المبنى أي حمل الانفجار يسبب اضرار محلية وبما أنا أعظم شدة للانفجار يكون في الأسفل فسبب أكبر انزياح في الطوابق السفلى.

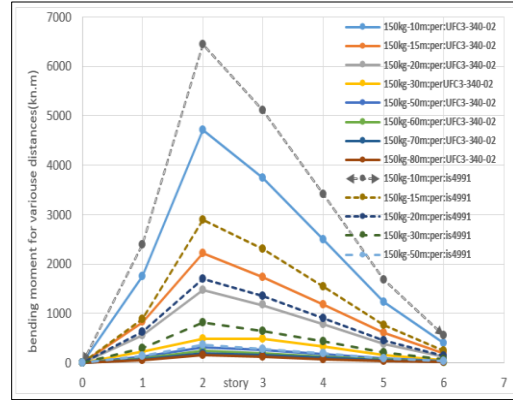
■ يتميز الانفجار بشدة عالية، حيث تشير النتائج إلى أن الأعمدة ذات الطوابق السفلية التي تتعرض لضغط عالٍ يمكن أن يسبب تشوهاً كبيراً فيها يتجاوز رد الفعل المقاوم بحيث تتلف الأعمدة القريبة من الانفجار مما يؤدي إلى انهيار مفاجئ لأعمدة تحمل الحمولة الحرجة.

الخلاصة:

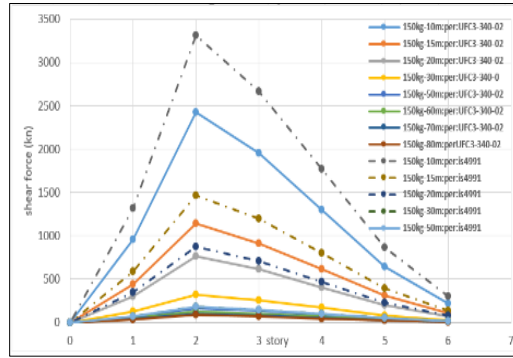
تشير الدراسة الحالية، للمبنى الهيكلي المدروس المؤلف من 5 طوابق وقبو (G+5) إلى أنه لا بد من تصور السلوك الصحيح لمبنى قائم معرض للانفجار عند مسافات مواجهة مختلفة وبالتالي الحصول على مسافة امان كافية ضد الهجوم المستهدف، وفي حال كان ذلك غير ممكناً لا بد من اتباع أساليب أخرى للحماية، كتقوية المبنى بإحدى طرق التدعيم اما باستخدام الروابط المعدنية او باستخدام الجدران القصية...والخ، مما يؤدي الى تحسين السلامة الهيكلية بدلاً من الانهيار التام وبالتالي التقليل من الخسائر في الأرواح قدر الإمكان.



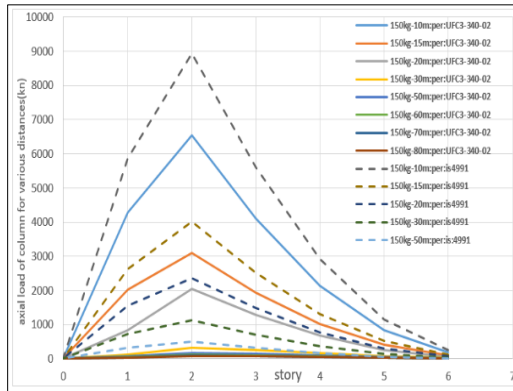
الشكل 7: الانزياح في اعلى الطابق عند مسافات مواجهة مختلفة



الشكل 8: عزم الانعطاف في الجيزان عند مسافات مواجهة مختلفة



الشكل 9: قوى القص في الجيزان



الشكل 10: القوى المحورية في الأعمدة

- Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, US Army Corps of Engineers, Naval Facilities Engineering Command, Air Force Civil Engineer Support Agency.
- [6] IS 4991-1968, Indian Standard: Criteria for Blast Resistant Design of Structures for Explosions above Ground, Bureau of Indian Standards, New.
- [7] Y. A. Pranata, N. Madhu Tujuh (2012) "dynamic time history analysis of blast resistant door using blast load modeled as impact load", Civil Engineering Forum Volume XXI/1.
- [8] T. Ngo, P. Mendis, A. Gupta & J. Ramsay (2007), Blast Loading and Blast Effects on Structures – An Overview. EJSE Special Issue: Loading on Structures, pp: 79-91.
- [9] TM5-1300. Structures to resist the effects of accidental explosions. United States Departments of the Army, Navy and Air Force.
- :المراجع
- [1] Quazi Kashif, Dr. M B Varma (2014) "Effect of Blast on G+4 RCC Frame Structure" International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, ISSN: 2250-2459, 4(11), pp. 145-149.
- [2] Amy Coffield, Hojjat Adeli (2014) "An Investigation of the Effectiveness of the Framing Systems in Steel Structures Subjected to Blast Loading" Journal of Civil Engineering and Management, ISSN 1392-3730, 20(6), pp. 767-777.
- [3] Gautham T N1, Dr. M N Hegde 2, Blast Resistant Buildings (2017) International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).
- [4] Vinothini P, Elavenil S (2016) "Analytical Investigation of High-Rise Building under Blast loading" Indian Journal of Science and Technology, ISSN: 0974-5645, volume 9(18), pp. 1-7.
- [5] Unified Facilities Criteria (UFC)-3-340-02 (2008),